BIOLOGISCHE STUDIEN

UEBER

DIE EIGENBEWEGUNG DER BACTERIEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

VERFASST UND DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT

DER

K. BAYER. JULIUS-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT WÜRZBURG

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

VORGELEGT

AM 5. JUNI 1902

VON

EUGEN FRIED, APPR. ZAHNARZT

AUS

INGENHEIM (RHEINPFALZ).

WÜRZBURG.
BUCHDRUCKEREI J. B. GRUNWALD NACHF.
1902.

MEINEN

LIEBEN ELTERN

IN DANKBARKEIT GEWIDMET.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549805_0054

Während in den Kinderjahren der Bakteriologie unter den Forschern häufig die Ansicht vertreten war, dass die Eigenbewegung der Bakterien durch rhytmische Contractionen ihres Zellinhaltes, sowie durch Diffusionsvorgänge hervorgerufen werde, erkannte schon Robert Koch (1877), zum Theil unter Zuhülfenahme der Photographie, Geisseln als die Bewegungsorgane der Bakterien. Viel später (1889) ist es dann Löffler gelungen, an allen beweglichen Bakterien (mit Ausnahme der Recurrensspirochaeten) vermittelst einer vortrefflichen Färbemethode Geisseln nachzuweisen. Unzweifelhaft steht es heute fest, dass diese Eigenbewegung, d. h. **die Fähigkeit der Bakterien, ihren Standort beliebig zu verändern**, durch Schwingungen und Contractionen der Geisseln bewirkt wird. Ueber diese Thatsachen hat sich eine ziemlich reiche Litteratur angesammelt; ich erwähne vor allem eine Arbeit Alfred Fischer's [1]), die sich in der eingehendsten Weise mit den Bakteriengeisseln, speziell mit dem Verhalten der Geisseln zur Plasmolyse des Bakterienleibes, zum Nährsubstrat u. s. w. beschäftigt. „Nach diesen Untersuchungen Fischers kann die Natur der Geisseln als echte Bewegungsorgane und ihre Verwandschaft mit den entsprechenden Gebilden der Flagellaten, noch mehr aber der Ciliaten keinem Zweifel unterliegen": Fischer

---

[1]) Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik, 1895, Band 27, Heft I.

ging sogar soweit, die Geisseln zur Systematik der Bakterien heranzuziehen, doch scheint dieser Versuch im Allgemeinen wenig Anklang bei den Bakteriologen gefunden zu haben. Auch Migula schildert uns im allgemeinen Teile seines Werkes „System der Bakterien" sehr interessante Beobachtungen über den Bau der Geisseln, sowie über verschiedene Arten der Bakterienfortbewegung. Immerhin sind noch eine Reihe namentlich quantitativer Fragen über die Eigenbewegung der Bakterien so gut wie unbearbeitet, und ich folgte deshalb gerne der Anregung meines hochgeschätzten Lehrers, Herrn Professor Dr. K. B. Lehmann, eine Reihe von Einzeluntersuchungen auf diesem Gebiet anzustellen.

Welche Fragen mir zur Bearbeitung vorgelegt wurden, ergibt sich am einfachsten aus der Gliederung meiner Arbeit in Abschnitte.

I. Abschnitt.

Geschwindigkeit der Eigenbewegung verschiedener Bakterienarten.

Die erste Versuchsreihe galt der Feststellung der Geschwindigkeit bei verschiedenen Bakterienarten. Es steht hierüber in keinem Buche irgend eine Angabe; über die plastische Schilderung, die C. Fränkel in seinem Grundriss der Bakterienkunde [1]) entworfen hat, ist bisher kein Autor hinausgekommen:

„Ausserordentlich schön und deutlich gibt sich die Fähigkeit der Eigenbewegung vieler Bakterien im hohlen Objektträger kund; über diese wichtige Lebensäusserung der Mikroorganismen vermag uns sogar nur die hier

[1]) Fränkel, Grundriss der Bakterienkunde. 3. Aufl. Berlin 1891.

gewählte Art der Untersuchung einen einwandfreien, wirklich zutreffenden Aufschluss zu verschaffen.

Freilich sehen Sie wohl auch solche Organismen, denen dieselbe nicht zukommt, anscheinend leichte Ortsveränderungen durchmachen. Aber bei genauerem Hinschauen werden Sie erkennen, dass das keine eigentliche Locomotion, sondern nur ein Rühren auf der Stelle ist. Sie haben es da mit der sogenannten Brown'schen-Molekularbewegung zu thun und namentlich die Kugelbakterien, denen nach unseren sonstigen Kenntnissen eine wirkliche Eigenbewegung in der Regel fehlt, zeigen beinahe stets dieses eigenthümliche Tanzen und Auf- und Abhüpfen. Wie sehr ist aber hiervon die kräftige, fast selbstbewusste Art verschieden, mit der manche von den Stäbchen- und Schraubenbakterien ihre Lebenswege wandeln. Kann man dabei doch gewisse Eigenheiten unterscheiden. Hier sehen Sie Typhusbacillen, einer Kartoffelzucht entnommen: in schlangenartigen Windungen gleiten sie behende durch das Gesichtsfeld; dort haben Sie Heubacillen: sich von einer Seite auf die andere werfend, wackeln sie dahin, während hier drittens Bacillus Megatherium in seiner eigentümlichen, wie amoeboiden Bewegung einherkriecht. Ganz anders das Bild, wenn Sie Bacillen der blauen Milch oder des grünen Eiters oder gar Cholerabakterien vor sich haben. Da wimmelt alles in eiliger Geschäftigkeit, wie ein Schwarm tanzender Mücken durcheinander und das Auge des Beobachters vermag in dem regen Gewirr kaum die einzelnen zu erkennen."

Sämmtliche Untersuchungen wurden mit einem Leitz'schen Mikroskop mit $^1/_{12}$ Objektiv, und Ocularmikrometer 3 vorgenommen. Der Mikrometer war in $^1/_{20}$ mm (= 50 μ) eingeteilt. Jeder solcher Theilstrich entsprach 9 μ des Objektes nach der Angabe von Leitz.

Nach einer Untersuchung von mir wäre 1 Ocularteilstrich nur = 8,1 μ des Objektes, ich habe aber die Leitz'schen Angaben als richtig angenommen.

Die Methode der Geschwindigkeitsbestimmung war folgende: Ich beobachtete einfach auf Rath von Herrn Professor Lehmann, an wieviel Teilstrichen des Ocularmikrometers ein Stäbchen vorbeiglitt, das sich während 1—10 Sekunden zufällig gerade über den Mikrometer vorwärts bewegte. Die Zeit wurde dabei mit einem Melzel'schen Metronom bestimmt

Zur Untersuchung gelangten 6 verschiedene Arten, nämlich:

1. Bacillus subtilis
2. Bacillus megatherium
3. Bacterium vulgare
4. Bacterium typhi
5. Vibrio cholerae
6. Bacillus tetani.

Sämmtliche Untersuchungen wurden bei Zimmertemperatur (18—20° C) ausgeführt; die Kulturen (gewöhnliche Nährbouillon) wurden zumeist nach 7—8 stündigem Verweilen im Brutschrank (37° C) untersucht, da sich zeigte, dass um diese Zeit die Bewegung stets eine besonders lebhafte war. Bei sämmtlichen Präparaten (natürlich im hängenden Tropfen) wurde auf eine möglichst geringe Einsaat zur Erleichterung der Arbeit geachtet, da diese das Auge ohnehin schon sehr anstrengte und ermüdete. Aus den zahlreichen Einzelbeobachtungen, zu denen einzelne zufällig in günstiger Richtung sich bewegende Stäbchen benutzt wurden, stellte ich die Mittelwerte fest. Zur Controlle wurden ferner die Versuche unter genau gleichen Bedingungen wiederholt und dann aus beiden erhaltenen Mittelwerthen nochmals der Durchschnitt berechnet. Auf

diese Weise erhielt ich eine durchschnittliche Geschwindigkeit der Eigenbewegung bei den untersuchten Arten. Schliesslich wurde noch bei jedem einzelnen Versuche des Interesses halber aus den 3 höchsten und 3 niedrigsten der erhaltenen Einzelwerte das Mittel berechnet und angegeben.

Ich erwähne noch, dass Herr Professor Lehmann die Beobachtungen häufig zu controllieren die Freundlichkeit hatte.

Bacillus subtilis.

Die einzelnen Stäbchen legten zurück:

[1]) No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
1)	$4^1/_2$	10	2,2
2)	5	6	1,2
3)	3	4	1,3
4)	6	6	1,0
5)	5	10	2,0
6)	8	6	0,7
7)	2	2	1,0
8)	10	8	0,8
9)	$8^1/_2$	10	1,2
10)	4	4	1,0
11)	4	5	1,2
12)	4	3	0,7

[1]) Um jedes Missverständnis auszuschliessen, führe ich noch ausdrücklich an, dass die sämmtlichen Tafeln im I. und den folgenden Abschnitten bedeuten: (beispielsweise)

In $4^1/_2$ Secunden legt der Bacillus 10 Teilstriche zurück, also in 1 Secunde 2,2 Teilstriche.

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
13)	5	6	1,2
14)	9	10	1,1
15)	9	10	1,1
16)	5	4	0,8
17)	6	3	0,8
18)	8	5	0,6
19)	7	7	1,0
20)	12	10	0,8
21)	5	6	1,2
22)	$3^1/_2$	4	1,1
23)	$1^1/_2$	2	1,3
24)	2	2	1,0
25)	4	5	1,5
26)	$4^1/_2$	5	1,1

Also im Durchschnitt: $28{,}6 : 26 = 1{,}1$

Also im Mittel auf 26 Einzelbeobachtungen in 1 Secunde 1,1 Teilstriche.

1 Teilstrich = 9 mikra. $1{,}1 \cdot 9 = 9{,}9\ \mu$ oder rund 10 μ, d. h. es beträgt die Geschwindigkeit des Subtilis **pro Secunde 10 μ = 0,01 mm**

$$\begin{array}{l} 10\ \mu\ -\ 1\ \text{Secunde} \\ 1000\ \mu\ -\ X \\ \hline X = \dfrac{1000 \cdot 1}{10} = 100 \end{array}$$

Also zu 1 mm 1 Minute 40 Sekunden.

Mittel aus den 3 höchsten Werten: pro Sekunde 0,17 μ = 0,017 mm. Zu 1 mm 59 Sekunden.

Mittel aus den 3 niedersten Werten: pro Sekunde 0,006 mm. Zu 1 mm 158 Sekunden.

Controllversuch.

(8 Tage später als Versuch I unter ganz gleichen Bedingungen.)

Die einzelnen Stäbchen legten zurück:

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
1)	$3^1/_2$	4	1,1
2)	$2^1/_2$	3	1,2
3)	$3^1/_2$	5	1,4
4)	$5^1/_2$	5	0,9
5)	2	2	1,0
6)	3	5	1,7
7)	$6^1/_2$	10	1,5
8)	9	8	0,9
9)	$6^1/_2$	10	1,5
10)	$7^1/_2$	5	1,1
11)	3	5	1,7
12)	$2^1/_2$	3	1,2
13)	4	5	1,2
14)	$3^1/_2$	3	0,8
15)	$4^1/_2$	5	1,1
16)	4	4	1,0
17)	7	10	1,4
18)	$5^1/_2$	5	0,9
19)	6	5	0,8
20)	$5^1/_2$	5	0,9

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
21)	5	5	1,0
22)	$7^1/_2$	6	0,8
23)	4	5	1,2
24)	$4^1/_2$	5	1,1

Also im Durchschnitt: 27,4 : 24 = 1,1.

Also im Mittel aus 24 Einzelbeobachtungen in 1 Sekunde — 1,1 Teilstriche.

1,1 · 9 = 9,9 oder rund 10 μ, d. h. es beträgt die Geschwindigkeit des Subtilis **pro Secunde 10 μ = 0,01 mm.**

10 μ — 1 Sekunde

1000 μ — X

$$X = \frac{1000}{10} = 100$$

Zu 1 mm — 1 Minute 40 Secunden.

Mittel aus den 3 höchsten Werten: pro Sekunde 0,014 mm. Zu 1 mm 71 Sekunden.

Mittel aus den 3 niedrigsten Werten: pro Sekunde 0,007 mm. Zu 1 mm 143 Sekunden.

Ich bemerke, dass diese genaue Uebereinstimmung der beiden Resultate mich selbst natürlich sehr überraschte; ist sie einerseits ein grosser Zufall, so spricht sie andrerseits immerhin, da doch die Angaben von meiner Seite ganz unbefangen notiert und die Mittel berechnet sind, für die Richtigkeit derselben.

Bacillus megatherium.

Es legten die einzelnen Stäbchen zurück:

No.	in Secunden	Theilstriche	Theilstriche in 1 Secunde
1)	4	2	0,5
2)	3	$1^1/_2$	0,5
3)	7	$5^1/_2$	0,8
4)	3	2	0,7
5)	4	4	1,0
6)	6	3	0,5
7)	7	5	0,7
8)	$4^1/_2$	3	0,7
9)	6	3	0,5
10)	5	5	1,0
11)	3	3	1,0
12)	6	5	0,8
13)	6	4	0,7
14)	6	6	1,0
15)	4	3	0,7
16)	11	10	0,9
17)	9	7	0,8
18)	10	10	1,0
19)	9	8	0,9
20)	3	3	1,0

Also im Durchschnitt: $\overline{15,7 : 20 = 0,79}$.

Also im Mittel aus 20 Einzelbeobachtungen: in 1 Sekunde 0,79 Teilstriche

$$0,79 \cdot 9 = 7,11\ \mu,\ \text{d. h.}$$

es beträgt die Geschwindigkeit des Bacillus megatherium **pro Sekunde 7,11 μ = 0,007 mm**

$$\begin{array}{l} 7{,}11\ \mu\ -\ 1\ \text{Sekunde} \\ 1000\ \mu\ -\ X \end{array}$$

$$X = \frac{1000}{7{,}11} = 140$$

Also zu 1 mm 2 Minuten 20 Sekunden.

Mittel aus den 3 höchsten Werten: pro Sekunde 0,009 mm. Zu 1 mm: 111 Sekunden.

Mittel aus den 3 niedersten Werten: pro Sekunde 0,0045 mm. Zu 1 mm: 222 Sekunden.

Controllversuch

(Einige Tage später unter genau gleichen Bedingungen).

Es legten die einzelnen Stäbchen zurück:

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
1)	10	3	0,3
2)	5	4	0,8
3)	4	4	1,0
4)	4½	4	0,9
5)	2	2	1,0
6)	6	6	1,0
7)	4	3	0,8
8)	3½	3	0,8
9)	3½	3	0,8
10)	2	2	1,0
11)	5	3	0,6
12)	5	5	1,0

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
13)	4	3	0,8
14)	5	5	1,0
15)	$4^1/_2$	5	1,1
16)	$5^1/_2$	8	1,4
17)	3	3	1,0
18)	3	2	0,7
19)	2	3	1,5
20)	4	3	0,8
21)	4	3	0,8
22)	4	3	0,8
23)	$9^1/_2$	10	1,1
24)	6	5	0,8
25)	6	5	0,8
26)	$4^1/_2$	4	0,8
27)	$4^1/_2$	5	1,1
28)	$2^1/_2$	2	0,8
29)	14	10	0,7

Also im Durchschnitt: $26{,}0 : 29 = 0{,}9$.

Also im Mittel aus 29 Einzelversuchen in 1 Secunde 0,9 Teilstriche

$$0{,}9 \cdot 9 = 8{,}1\ \mu, \text{ d. h.}$$

es beträgt die Geschwindigkeit des Bacillus megatherium **pro Secunde 8 μ = 0,008 mm.**

$$\begin{array}{l} 8{,}1\ \mu\ -\ 1 \text{ Sekunde} \\ 1000\ \mu\ -\ X \end{array}$$

$$X = \frac{1000}{8{,}1} = 123$$

Also zu 1 mm 2 Minuten 3 Secunden.

Mittel aus den 3 höchsten Werten: pro Sekunde 0,012 mm. Zu 1 mm: 83 Sekunden.

Mittel aus den 3 niedersten Werten: pro Sekunde 0,0045 mm. Zu 1 mm: 222 Sekunden.

Bacterium vulgare (Lehmann u. Neumann)
(Proteus vulgaris Hauser).

Die einzelnen Stäbchen legten zurück:

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
1)	2	5	2,5
2)	2	4	2,0
3)	1/2	2	4,0
4)	2	4	2,0
5)	3	5	1,7
6)	1	2	2,0
7)	5	10	2,2
8)	3	3	1,0
9)	2 1/2	4	1,6
10)	3	4	1,3
11)	3	4	1,3
12)	4	6	1,5
13)	3	2	0,7
14)	2	4	2,0
15)	4	8	2,0
16)	2	2	1,0
17)	2 1/2	5	2,0
18)	1 1/2	3	2,0

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
19)	$1^1/_2$	3	2,0
20)	11	10	0,9
21)	4	6	1,5
22)	2	4	2,0
23)	4	9	2,3
24)	7	9	1,3
25)	$2^1/_2$	5	2,0
26)	3	4	1,3
27)	3	4	1,3
28)	4	4	1,0
29)	$5^1/_2$	10	1,8
30)	$1^1/_2$	3	2,0
31)	2	4	2,0
32)	3	4	1,3
33)	4	4	1,0
34)	4	4	1,0
35)	4	6	1,5
36)	2	2	1,0

Also im Durchschnitt: $59{,}8 : 36 = 1{,}66$.

Also im Mittel aus 36 Einzelversuchen in 1 Secunde 1,66 Teilstriche.

$$1{,}66 \cdot 9 = 14{,}9\ \mu, \text{ d. h.}$$

es beträgt die Geschwindigkeit des Bacterium vulgare **pro Secunde rund 15 μ = 0,015 mm.**

$$\begin{array}{l} 15\ \mu \text{ — } 1 \text{ Secunde} \\ 1000\ \mu \text{ — } X \end{array}$$

$$X = \frac{1000}{15} = 66{,}6$$

Also zu 1 mm 67 Secunden.

Mittel aus den 3 höchsten Werten: pro Secunde 0,026 mm. Zu 1 mm 38 Secunden.

Mittel aus den 3 niedersten Werten: pro Secunde 0,008 mm. Zu 1 mm 125 Secunden.

Controllversuch.

(Am nächsten Tag unter genau gleichen Bedingungen).

Die einzelnen Stäbchen legten zurück:

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
1)	3	5	1,7
2)	3	5	1,7
3)	3	4	1,3
4)	3	5	1,7
5)	2	2	1,0
6)	3	4	1,3
7)	4	3	0,8
8)	4	5	1,2
9)	5	5	1,0
10)	4	4	1,0
11)	2	4	2,0
12)	3	2	0,7
13)	2	2	1,0
14)	$2^1/_2$	5	2,0
15)	$6^1/_2$	10	1,5
16)	$4^1/_2$	5	1,1
17)	3	5	1,7
18)	2	2	1,0

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
19)	$5^1/_2$	8	1,4
20)	3	5	1,7
21)	2	4	2,0
22)	$6^1/_2$	10	1,5

Also im Durchschnitt: 30,3 : 22 = 1,4.

Also im Mittel aus 22 Einzelbeobachtungen in 1 Sekunde 1,4 Teilstriche.

$$1{,}4 \cdot 9 = 12{,}6\ \mu,\ \text{d. h.}$$

es beträgt die Geschwindigkeit des Bacterium vulgare **pro Secunde $12^1/_2\ \mu = 0{,}013$ mm.**

$$12^1/_2\ \mu\ -\ 1 \text{ Secunde}$$
$$1000\ \mu\ -\ X$$

$$X = \frac{1000}{12{,}5} = 80$$

Also zu 1 mm 80 Secunden.

Mittel aus den 3 höchsten Werten: pro Secunde 0,018 mm. Zu 1 mm 55 Secunden.

Mittel aus den 3 niedersten Werten: pro Secunde 0,007 mm. Zu 1 mm 143 Secunden.

Bacterium typhi.

Die einzelnen Stäbchen legten zurück:

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
1)	5	6	1,2
2)	2	2	1,0
3)	3	3	1,0

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
4)	2	3	1,5
5)	1/2	1	2,0
6)	2	4	2,2
7)	2	3	1,5
8)	1/2	3	6,0
9)	1 1/2	3	2,0
10)	2	4	2,0
11)	2	4	2,0
12)	3	4	1,3
13)	6	10	1,7
14)	5	10	2,0
15)	2 1/2	5	2,0
16)	7	10	1,4

Also im Durchschnitt: $30{,}8 : 16 = 1{,}92$.

Also im Mittel auf 16 Einzelbeobachtungen in 1 Secunde 1,92 Teilstriche.

$$1{,}92 \cdot 9 = 17{,}3\ \mu,\ \text{d. h.}$$

es beträgt die Geschwindigkeit des Typhus

pro Secunde rund 17 μ = 0,017 mm.

$$\begin{array}{r} 17\ \mu\ -\ 1\ \text{Secunde} \\ 1000\ \mu\ -\ X \\ \hline \end{array}$$

$$X = \frac{1000}{17} = 58$$

Also braucht Typhus zu 1 mm 58 Secunden.

Mittel aus den 3 höchsten Werten: pro Secunde 0,030 mm. Zu 1 mm: 33 Secunden.

Mittel aus den 3 niedersten Werten: pro Sekunde 0,01 mm. Zu 1 mm 100 Sekunden.

Controllversuch.

(1 Tag später als I. Versuch unter gleichen Bedingungen.)

Die einzelnen Stäbchen legten zurück:

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
1)	$2^1/_2$	7	2,8
2)	$5^1/_2$	10	1,8
3)	4	6	1,5
4)	$5^1/_2$	10	1,8
5)	4	10	2,5
6)	4	7	1,8
7)	5	10	2,0
8)	$2^1/_2$	5	2,0
9)	3	6	2,0
10)	4	10	2,5
11)	3	6	2,0
12)	2	4	2,0
13)	2	5	2,5
14)	4	10	2,5
15)	3	8	2,7
16)	$3^1/_2$	10	2,8
17)	2	4	2,0
18)	3	5	1,7
19)	2	5	2,5

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
20)	$4^1/_2$	10	2,2
21)	4	10	2,5
22)	$4^1/_2$	10	2,2
23)	2	$4^1/_2$	2,3
24)	2	6	3,0
25)	$4^1/_2$	10	2,2
26)	$4^1/_2$	10	2,2
27)	$4^1/_2$	10	2,2
28)	3	7	2,3
29)	6	10	1,7
30)	$2^1/_2$	4	1,6
31)	4	4	1,0
32)	5	5	1,0
33)	$^1/_2$	2	4,0
34)	5	6	1,2
35)	5	4	0,8
36)	8	10	1,2

Also im Durchschnitt: $74{,}2 : 36 = 2{,}06$.

Also im Mittel aus 36 Einzelversuchen in 1 Secunde 2,06 Teilstriche

$$2{,}06 \cdot 9 = 18{,}5\ \mu,\ \text{d. h.}$$

es beträgt die Geschwindigkeit des Typhus

pro Secunde $18^1/_2\ \mu$ = 0,019 mm

$18{,}5\ \mu$ — 1 Secunde
$1000\ \mu$ — X

$$X = \frac{1000}{18{,}5} = 54$$

Also zu 1 mm 54 Sekunden.

Mittel aus den 3 höchsten Werten: pro Secunde 0,030 mm. Zu 1 mm: 33 Secunden.

Mittel aus den 3 niedersten Werten: pro Secunde 0,002 mm. Zu 1 mm: 500 Secunden.

Vibrio Cholerae.

Beobachtung ausserordentlich schwer, weil die kleinen Stäbchen das Gesichtsfeld blitzschnell durchjagen und selbst die langsamere Fortbewegung der grösseren Vibrionen zur ganz sicheren Beobachtung eine viel zu rasche ist.

Die einzelnen Stäbchen legten zurück:

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
1)	2	10	5,0
2)	$1^1/_2$	10	6,6
3)	$2^1/_2$	10	4,0
4)	$7^1/_2$	10	1,3
5)	2	10	5,0
6)	1	1	1,0
7)	$1^1/_2$	10	6,6
8)	1	4	4,0
9	3	4	1,3
10)	2	10	5,0
11)	$^1/_2$	2	4,0
12)	$1^1/_2$	5	3,3
13)	3	5	1,7
14)	1	5	5,0

Also im Durchschnitt: 53,8 : 14 = 3,8.

Also im Mittel aus 14 Einzelbeobachtungen: in 1 Sekunde 3,8 Teilstriche

$$3{,}8 \cdot 9 = 34{,}2\ \mu \text{ d. h.}$$

es beträgt die Geschwindigkeit des Choleravibrios

pro Secunde 34 μ = 0,034 mm

$$\begin{array}{l} 34\ \mu - 1 \text{ Secunde} \\ 1000\ \mu - X \end{array}$$

$$X = \frac{1000}{34} = 29$$

Also zu 1 mm 29 Secunden.

Mittel aus den 3 höchsten Werten: pro Secunde 0,054 mm. Zu 1 mm 18 Secunden.

Mittel aus den 3 niedersten Werten: pro Secunde 0,011 mm. Zu 1 mm: 91 Secunden.

Controliversuch.

(Längere Zeit später unter gleichen Bedingungen.)

Die meisten Vibrionen liefen so schnell, dass es nicht mehr möglich war, mit dem Auge zu folgen.

Von den untersuchten Stäbchen legten zurück:

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
1)	$1^1/_2$	5	3,4
2)	$^1/_2$	2	4,0
3)	1	4	4,0
4)	2	5	2,5
5)	2	4	2,0
6)	$1^1/_2$	4	2,6
7)	2	4	2,0

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
8)	2	5	2,5
9)	1	5	5,0
10)	1	3	3,0
11)	$^1/_2$	1	2,0
12)	$2^1/_2$	5	2,0
13)	1	2	2,0
14)	4	6	1,5
15)	$2^1/_2$	10	4,0

Also im Durchschnitt: $42{,}5 : 15 = 2{,}8$.

Also im Mittel aus 15 Einzelversuchen in 1 Secunde 2,8 Teilstriche.

$$2{,}8 \cdot 9 = 25{,}2\ \mu,\ \text{d. h.}$$

es beträgt die Geschwindigkeit des Choleravibrio **pro Secunde 25 μ = 0,025 mm.**

$$\begin{array}{l} 25\ \mu - 1\ \text{Secunde} \\ 1000\ \mu - X \end{array}$$

$$X = \frac{1000}{25} = 40$$

Also zu 1 mm 40 Secunden.

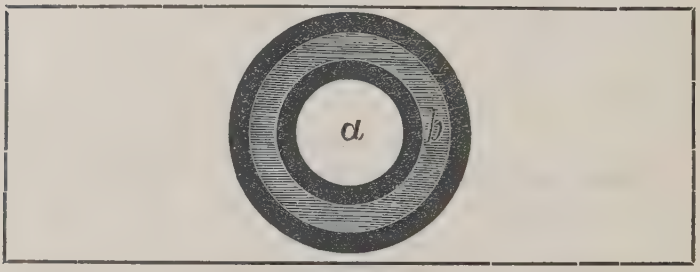
Mittel aus den 3 höchsten Werten: pro Secunde 0,039 mm. Zu 1 mm 26 Secunden.

Mittel aus den 3 niedersten Werten: pro Secunde 0,016 mm. Zu 1 mm 62 Secunden.

Bacillus Tetani (Nicolaier)

Da ich nicht verfehlen wollte, auch die Bewegungsgeschwindigkeit eines Anaërobiers festzustellen, wurde obiger Organismus zur Untersuchung beigezogen. Es stand zu erwarten, dass die Eigenbewegung desselben bei

Sauerstoffabschluss eine wesentlich andere sei als bei Sauerstoffzutritt. Nach längeren Versuchen mit käuflichen und improvisierten Objektträgern zur Anaérobiose liess ich mir daher nach eigener Angabe einen Objektträger herstellen, mit dessen Hilfe ich meine Beobachtungen bei völliger Anaérobiose vorzunehmen hoffen durfte. Derselbe war folgendermassen beschaffen:



a. Gesichtsfeld, b. Raum für Pyrogallussäure und Natronlauge.

Auf einen gewöhnlichen Objektträger wurden in einer Entfernung von etwa 3 cm 2 Glasringe **aufgeschmolzen,** von denen der äussere fast doppelt so hoch war als der innere. Als Gesichtsfeld diente der vom inneren Ringe eingeschlossene Kreis, während der zwischen dem äusseren und inneren Ringe vorhandene Raum zur Aufnahme von Pyrogallussäure und Natronlauge bestimmt war. Das Deckglas wurde auf der glattgeschliffenen Oberfläche des äusseren Glasringes mit Vaseline luftdicht befestigt. — Ich musste auf diese Weise nach der bekannten Buchner'schen Methode ein sauerstofffreies Präparat erhalten. —

Zu meiner Ueberraschung zeigte sich aber **kein auffallender Unterschied zwischen den bei Sauerstoff-**

zutritt[1]) und den **bei Sauerstoffabschluss gehaltenen Präparaten** weder in der Geschwindigkeit noch in der Dauer der Bewegung. Dass unser Bacillus tetani immerhin ziemlich obligat anaerob war, ging daraus hervor, dass Oberflächenkulturen auf Zuckeragar niemals wuchsen. Die Messung der Geschwindigkeit wurde genau in derselben Weise wie bei den 5 vorhergehenden Versuchen vorgenommen.

Bacillus tetani.

Es legten die einzelnen Stäbchen zurück:

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
1)	3	5	1,7
2)	11	6	0,9
3)	4	4	1,0
4)	$4^1/_2$	4	0,9
5)	5	6	1,2
6)	$3^1/_2$	3	0,9
7)	$2^1/_2$	2	0,8
8)	$5^1/_2$	6	1,1
9)	5	5	1,0
10)	5	6	1,2
11)	8	10	1,3
12)	4	5	1,2
13)	$4^1/_2$	5	1,1
14)	3	3	1,0

[1]) Das Deckgläschen wurde so aufgelegt, dass zwischen diesen und dem Hohlraum eine kleine Oeffnung freiblieb, so dass Sauerstoff reichlich zutreten konnte.

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
15)	2	2	1,0
16)	4	5	1,2
17)	$4^1/_2$	5	1,1

Also im Durchschnitt: 18,6 : 17 = 1,09

Also im Mittel aus 17 Einzelversuchen: in 1 Sekunde 1,09 Teilstriche

$$1{,}09 \cdot 9 = 9{,}8\ \mu \text{ d. h.}$$

es beträgt die Geschwindigkeit des Bacillus tetani **pro Secunde rund 10 μ = 0,01 mm**

$$\begin{array}{l} 10\ \mu \text{ — } 1 \text{ Secunde} \\ 1000\ \mu \text{ — } X \end{array}$$

$$X = \frac{1000}{10} = 100$$

Zu 1 mm braucht demnach Bacillus tetani 100 Secunden — 1 Minute 40 Secunden.

Mittel aus den 3 höchsten Werten: pro Secunde 0,013 mm. Zu 1 mm 80 Secunden.

Mittel aus den 3 niedersten Werten: pro Secunde 0,008 mm. Zu 1 mm: 125 Secunden.

Controllversuch.

(Am nächsten Tag unter gleichen Bedingungen).

Es legten die einzelnen Stäbchen zurück:

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
1)	4	5	1,2
2)	7	10	1,4
3)	5	5	1,0

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
4)	5	6	1,2
5)	$2^1/_2$	5	2,0
6)	$2^1/_2$	3	1,2
7)	2	3	1,5
8)	5	5	1,0
9)	3	4	1,3
10)	7	10	1,4
11)	2	3	1,5
12)	3	4	1,3
13)	$2^1/_2$	3	1,2
14)	4	5	1,2
15)	$4^1/_2$	5	1,1
16)	8	10	1,2
17)	$3^1/_2$	5	1,4
18)	$3^1/_2$	5	1,4
19)	5	7	1,4
20)	3	5	1,7
21)	$3^1/_2$	5	1,4
22)	3	4	1,3
23)	5	6	1,2
24)	7	10	1,4

Also im Durchschnitt: $31{,}9 : 24 = 1{,}3$.

Also im Mittel aus 24 Einzelbeobachtungen in 1 Sekunde 1,3 Teilstriche.

$$1{,}3 \cdot 9 = 11{,}7\ \mu,\ \text{d. h.}$$

es beträgt die Geschwindigkeit des Bacillus tetani **pro Secunde rund 12 μ = 0,012 mm.**

$$12\ \mu\ —\ 1\ \text{Secunde}$$
$$1000\ \mu\ —\ X$$
$$X = \frac{1000}{12} = 85$$

Es braucht also dieses Mal Bacillus tetani:

Zu 1 mm 85 Secunden = 1 Minute 25 Secunden.

Mittel aus den 3 höchsten Werten: pro Secunde 0,015 mm. Zu 1 mm $66^1/_2$ Secunden = 1 Minute $6^1/_2$ Secunden.

Mittel aus den 3 niedersten Werten: pro Secunde 0,009 mm. Zu 1 mm 111 Secunden = 1 Minute 51 Secunden.

Fasse ich die Ergebnisse dieses Abschnittes in einer kleinen Tabelle zusammen und ordne ich die Werte nach der Geschwindigkeit, so ergibt sich Folgendes:

In 1 Secunde legten zurück (an mm):

		I. Reihe	II. Reihe	Mittelwerte	Mittel aus den 3 höchsten Werten	Mittel aus den 3 niedersten Werten
1)	Cholera	0,034	0,025	0,030	0,047	0,013
2)	Typhus	0.017	0,019	0,018	0,03	0,006
3)	Vulgare	0,015	0,013	0,014	0,022	0,007
4)	Tetanus	0,01	0,012	0,011	0,014	0,008
5)	Subtilis	0,01	0,01	0,01	0,015	0,006
6)	Megatherium	0,007	0,008	0,0075	0,01	0,004

Oder zur Durchlaufung von 1 mm brauchten:

		I. Reihe	II. Reihe	Mittelwerte	Mittel aus den 3 höchsten Werten	Mittel aus den 3 niedersten Werten
1)	Cholera	29 Sec.	40 Sec.	$34^1/_2$ Sec.	22 Sec.	76 Sec.
2)	Typhus	58 Sec.	54 Sec.	56 Sec.	33 Sec.	300 Sec.
3)	Vulgare	67 Sec.	80 Sec.	73 Sec.	47 Sec.	134 Sec.
4)	Tetanus	1 Min. 40 Sec.	1 Min 25 Sec.	1 Min. 25,5 Sec.	73 Sec.	118 Sec.
5)	Subtilis	1 Min. 40 Sec.	1 Min. 40 Sec.	1 Min. 40 Sec.	65 Sec.	150 Sec.
6)	Megatherium	2 Min. 20 Sec.	2 Min. 3 Sec.	2 Min. 11 Sec.	97 Sec.	222 Sec.

Als der weitaus schnellste Läufer ergibt sich demnach der Vibrio cholerae, als der langsamste Bacillus megatherium. Betrachten wir die Einzelbeobachtungen etwas näher, so zeigt sich natürlicherweise in der Bewegung der einzelnen Stäbchen ein und derselben Cultur stets eine gewisse Inconstanz bezüglich der Geschwindigkeit. Vor allem fällt uns dies bei Vibrio cholerae auf, bei dem die langsamsten Stäbchen in 1 Secunde 1,0 Teilstrich, die schnellsten 6,6 Teilstriche zurücklegen, dabei müssen wir aber berücksichtigen, dass viele Vibrionen sich so rasch bewegten, dass die Bestimmung der Geschwindigkeit nicht mehr möglich war; wahrscheinlich ist die durchschnittliche Geschwindigkeit bei Vibrio cholerae nicht unerheblich höher als meine Mittelzahl und kommt meiner Maximalzahl nahe. Ebenso treffen wir bei Bacterium typhi einen grossen Unterschied in der Geschwindigkeit der einzelnen Stäbchen; die langsamsten zeigen hier eine

Bewegung von 1,0 Teilstriche in der Secunde, die raschesten 6,0 Teilstriche. Bei den 4 übrigen langsameren Arten sind die Schwankungen relativ ganz ähnlich, so durchläuft bei dem am langsamsten beweglichen Bacillus megatherium das rascheste Stäbchen 1,5, das trägste 0,3 Teilstriche in 1 Secunde.

II. Abschnitt.
Beobachtungen über den Einfluss des Alters, des Nährmediums, der Sporenbildung auf die Eigenbewegung.

Wie ich zu Anfang des I. Abschnittes erwähnt habe, wurden zu den obigen Beobachtungen 7—8 Stunden alte Bouillonkulturen verwendet, weil um diese Zeit die Bewegung am lebhaftesten war. Uebrigens liegt die Sache eigentlich so, dass schon nach 4—5 Stunden, wenn die Vermehrung der Bakterien ausreichte, um in jedem Präparat eine Anzahl Stäbchen zu liefern, deren Bewegung sehr schön war. Nach 7—8 Stunden war nicht sowohl die Raschheit der Bewegung als die Zahl der bequem zu beobachtenden beweglichen Stäbchen vermehrt. Bei älteren Kulturen zeigte sich oft jegliche Eigenbewegung aufgehoben, oft war sie auf ein Minimum reduziert. Bei einer 4—5 Tage alten Typhuskultur bestimmte ich vermittels der oben angegebenen Methode die Geschwindigkeit der Bewegung, wobei sich Folgendes ergab:

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
1)	4	5	1,2
2)	4	2	0,5
3)	3	3	1,0
4)	8	8	1,0
5)	1	2	2,0
6)	5	2	0,4
7)	5	3	0,6
8)	2	2	1,0
9)	4	6	1,5
10)	8	10	1,3
11)	3	3	1,0
12)	7	6	0,9
13)	5	5	1,0
14)	$1^1/_2$	3	1,3
15)	4	5	1,2
16)	3	3	1,0
17)	4	4	1,0
18)	6	5	0,8
19)	3	4	1,3
20)	3	3	1,0
21)	4	6	1,5
22)	3	3	1,0
23)	4	6	1,5
24)	3	2	0,7
25)	5	6	1,2
26)	4	2	0,5

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
27)	2	2	1,0
28)	4	4	1,0

Also im Durchschnitt: $29{,}4 : 28 = 1{,}05$.

Also im Mittel auf 28 Einzelbeobachtungen in 1 Secunde 1,05 Teilstriche.

$$1{,}05 \cdot 9 = 9{,}45\ \mu, \text{ d. h.}$$

es beträgt diesmal die Geschwindigkeit des Typhus

pro Secunde $9^1/_2\ \mu$ = 0,0095 mm.

$$\begin{array}{l} 9^1/_2\ \mu - 1 \text{ Secunde} \\ 1000\ \mu - X \end{array}$$

$$X = \frac{1000}{9{,}5} = 105$$

Also zu 1 mm 1 Minute 45 Secunden.

Vergleichen wir damit die durchschnittliche Geschwindigkeit junger Typhuskulturen, so sehen wir hier nur ungefähr **die halbe Geschwindigkeit**. Ein übereinstimmendes Ergebnis konnte jedoch bei den Untersuchungen über den Einfluss des Alters auf die Geschwindigkeit der Bewegung nicht erzielt werden. Bei Subtilis sowohl als bei Typhus begegnete es mir, dass von gleich alten Kulturen die eine leidlich gute Bewegung, die andere keine Spur einer solchen zeigte. Auch die Zeitdauer, in welcher gut bewegliche Kulturen ihre Bewegung verloren, erwies sich als sehr variabel, manchmal zeigten Kulturen von 5—7 Tagen noch ganz gute Bewegung, oft hörte diese schon nach ca. 20 Stunden auf.

Als nächste Ursache dieser abnehmenden Bewegung wäre wohl beginnende Erschöpfung des Nährstoffes und

die Anhäufung von giftigen Ausscheidungsprodukten anzunehmen. (Vergl. Seite 38.) Einen Entscheid zwischen den Möglichkeiten, die ja wohl zusammenwirken, kann ich nicht geben.

Eine grössere Reihe von Beobachtungen galten der Frage, ob die Eigenbewegung der Bakterien mit der Sporulation aufhört oder fortdauert. Zweckmässig unterscheiden wir hier aérobe und anaérobe Bacterien und beschäftigen uns zuerst mit den aéroben.

Bei Bacillus subtilis war in allen untersuchten Präparaten schon bei beginnender Sporenbildung die Eigenbewegung völlig aufgehoben. Diese Beobachtung haben bereits Fischer[1]) und Migula[2]) übereinstimmend gemacht, beide Autoren fanden sogar das Fehlen der Geisseln in diesem Stadium. In vielen hunderten von Präparaten hat Fischer nur ein einziges Mal eine grössere Anzahl von Stäbchen gefunden, die reife Sporen enthielten und gleichzeitig Geisseln trugen.

Während nach Fischer[1]) und Migula[2]) der Subtilis vor der Sporenbildung zu langen Fäden auswächst, habe ich öfters Sporenbildung ohne vorhergehende Fadenbildung beobachtet und die Stäbchen nach der Sporenbildung noch lebhafte zitternde Bewegung ausführen sehen, die sich jedoch als Molekularbewegung herausstellte.

De Bary[3]) fand, dass Bacillus megatherium bei eintretender Sporenbildung ungehinderte Bewegung zeigt und erst dann die Eigenbewegung verliert, wenn alle Glieder eines Kettchens Sporen gebildet haben.

Bei dem von mir zur Untersuchung angewandten

1) Oben angeführte Arbeit in den Jahrbüchern für wissenschaftliche Botanik.

2) System der Bacterien. Jena 1897.

3) Morphologie und Biologie der Pilze u. s. w. 1884 p. 362.

Megatheriumstamme konnte ich eine wirkliche Sporenbildung nie beobachten, (er war asporogen geworden,) dagegen zeigten oft viele Stäbchen eine feine, körnige Granulierung, die wohl als ein Vorstadium der Sporenbildung anzusehen war; die Eigenbewegung war in diesem Stadium **stets völlig** aufgehoben. Klein[1]) und nach diesem Fischer sahen bei einigen grösseren aèroben Sumpfbacillen wie dem Bacillus Solmsii und dem Bacillus limosus lebhaftes Andauern der Bewegung sogar noch nach der Sporenreife, sodass sporenhaltige Individuen mit derselben Lebhaftigkeit umherschwärmten wie die sporenfreien.

Es kommt also bei aéroben Bacillen bald unter Aufhören der Eigenbewegung, bald unter Fortdauer derselben zur Sporenbildung, doch scheint, soweit unsere Kenntnis bisher reicht, der erstere Fall der häufigere zu sein.

Als Vertreter der Anaèroben untersuchte ich den Bacillus tetani (Nicolaier). Bei einer nach der Buchnerschen Methode gezüchteten Kultur, die im Alter von 30 Stunden zum 1. Male zur Untersuchung gelangte, zeigte die durchweg mit teils beinah, teils vollständig ausgereiften **charakteristischen** Sporen versehenen Stäbchen ebenso **lebhafte Eigenbewegung** als eine tags vorher untersuchte junge, völlig sporenfreie Kultur. Diese interessante Beobachtung finde ich schon bei Migula[2]) angegeben, nach dessen Angabe die meisten anaêroben Bacterienarten ihre Eigenbewegung beinah bis zur vollendeten Sporenreife beibehalten. Bei längerer mehrstündiger Beobachtung schien mir die Bewegung in den Präparaten mit sporentragenden Bacillen regelmässig früher zu erlöschen als in den mit sporenfreien Organismen angefertigten. —

---

1) Bericht der deutschen botanischen Gesellschaft VII pag. 61.

2) Migula, System der Bacterien, Jena 1897.

Eine Beobachtung, die mir schon bei oberflächlicher Untersuchung ins Auge fiel, war die, dass bei den zur Untersuchung gelangten Bakterienarten fast immer die **kürzeren** und vor allem die **ganz kurzen Stäbchen** die **rascheste Bewegung** zeigten, während die ganz langen Stäbchen und Stäbchenketten, auch solche die nur aus 2—3 Gliedern bestehen, sich durchschnittlich viel träger und langsamer fortbewegten. Die Erklärung für diese Thatsache liegt offenbar darin, dass die kurzen Stäbchen auch gleichzeitig **die jüngsten** sind und dass in den Stäbchenverbänden die älteren Glieder sich nur träge oder gar nicht an der Bewegung des Verbandes beteiligen.

Bei der Feststellung der Geschwindigkeit hatte ich, wie ich bereits mehrfach erwähnt habe, durchweg als Nährboden gewöhnliche Bouillon benutzt. Dies geschah aus dem leicht begreiflichen Grunde, dass bewegliche Individuen auf festen Nährsubstraten wie Gelatine oder Agar am freien Umherschwärmen **beinahe völlig behindert sind.** Aber selbst wenn ich diese Nährböden durch Erhitzen flüssig machte, was ja bei Gelatinekulturen sehr leicht ohne Gefahr für das Absterben der gezüchteten Individuen möglich ist, so blieb die Beweglichkeit eine sehr miminale oder fehlte ganz. Setze ich aber zu einem solchen Präparat einen Tropfen Bouillon zu, so tritt regelmässig **sofort die gewöhnliche Bewegung ein.** Die Hemmung der Eigenbewegung auf den obigen Nährböden hat ihren Grund wohl in der Zähigkeit und Klebrigkeit derselben. Eine Beobachtung, die mit obiger nicht ganz übereinstimmt, finde ich von Mendozza[1]) gemacht. Bei der Beschreibung eines beweglichen Coccus sagt er nämlich: „Kokken in 5%iger flüssiger Gelatine zeigen

1) Bacteriologisches Centralblatt. Bd. 6 S. 33.

Schwimm- und Molecularbewegung. Je mehr der Tropfen abgekühlt wird und die Viscosität zunimmt, umsomehr wird die Molecularbewegung beeinträchtigt und hört schliesslich ganz auf. Die **Eigenbewegung dauert dabei an**". Im Gegensatz hierzu hatte ich **stets** den Eindruck, dass die Eigenbewegung schädlichen Einflüssen **weit eher** unterliegt als die Molecularbewegung.

Zum Belege für obige Angaben seien einige der ausgeführten Versuche erwähnt:

Ich untersuche eine junge Gelatinekultur von Subtilis im hängenden Tropfen, es fehlt jede Spur von Bewegung. Ich setze nun auf das Deckgläschen ein Tröpfchen gewöhnlicher Bouillon hinzu, worauf sofort lebhafte Schwärmbewegung eintritt.

Eine 8 Stunden alte Gelatinekultur von Subtilis, sehr vorsichtig hoch über der Flamme verflüssigt, zeigt nicht die geringste Bewegung; beim Verreiben der Gelatine mit einem Tröpfchen Bouillon dagegen sehen wir sofort eine allgemeine Bewegung auftreten.

Diese Versuche wiederholte ich sehr oft mit kleinen Modificationen; kleine Abweichungen bezüglich der Intensität der Bewegungen kamen dabei wohl vor, doch bestätigen sich vollauf die obigen Behauptungen, wovon sich Herr Professor Lehmann des öfteren persönlich überzeugte.

Eine fernere Beobachtung war die, dass ältere Stäbchen von Subtilis und Megatherium, die im hängenden Bouillontropfen gar keine oder nur sehr schwache Beweglichkeit hatten, bei Zusatz eines Tröpfchens **frischer** Nährbouillon oft wieder wunderschöne Bewegung erhielten. Es steht dies natürlich damit in Zusammenhang, dass die alte Bouillon von den in ihr lebenden Individuen aufs ungünstigste verändert ist. (Vergl. Seite 35.)

Diese Erscheinung erinnert lebhaft an die bekannte Thatsache, dass die Bacteriensporen erst nach Uebertragung auf frisches, unverbrauchtes Nährsubstrat zur Auskeimung gelangen

III. Abschnitt.

Einfluss von Kälte und Wärme auf die Eigenbewegung.

In diesem Abschnitt meiner Arbeit bestrebte ich mich einerseits festzustellen, welchen Einfluss Kälte und Wärme auf die **Geschwindigkeit** der Eigenbewegung ausüben, andrerseits trat ich der Frage näher, ob es im Leben der beweglichen Bakterien durch Einfluss der Temperatur eine sogenannte **Kältestarre** und **Wärmestarre** gäbe.

Die Amöben sowie andere einzellige Tiere haben bekanntlich die Eigenschaft beim Erwärmen ihre Bewegung zu verstärken und zu beschleunigen. Es war daher mit Sicherheit anzunehmen, dass diese Beobachtung auf die Bakterien, deren Bewegungsorgane doch auch protoplasmatische Gebilde sind, zutreffe. Dass diese Erwartung nicht unberechtigt war, zeigen die folgenden Versuche.

Ausschliesslich wurden bei 37° erzogene Bouillon-

kulturen von Subtilis und Typhus und zwar im Alter von 7—20 Stunden bis zu mehreren Tagen verwendet. Zur mikroskopischen Untersuchung bei höheren Temperaturen bediente ich mich des bekannten vortrefflichen geheizten Zeiss'schen Mikroskopwärmekastens, während ich Beobachtungen bei niederen Temperaturen auf dem flachen, zu Versuchszwecken eingerichteten Dache des hygienischen Instituts leicht ausführen konnte.

Zunächst wurde die Vorfrage untersucht, ob es für die Geschwindigkeit der Bakterien von Einfluss ist, ob sie bei Zimmer- oder Brutschranktemperatur gezüchtet sind. Das Resultat war vollkommen **negativ**, es kommt nicht auf die Bildungstemperatur der Bakterien an, sondern darauf an, bei welcher Temperatur die Eigenbewegung beobachtet wird.

A. Beschleunigende Wirkung der Erwärmung auf die Eigenbewegung.

a. Beobachtungen an 7—9 Stunden alten Kulturen.

Bestimmung der Bewegung bei Zimmertemperatur.

1. Bacillus subtilis.

Es legten die einzelnen Stäbchen zurück:

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
1)	$3^1/_2$	5	1,4
2)	5	5	1,0
3)	$5^1/_2$	5	0,9

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
4)	$7^1/_2$	10	1,3
5)	4	3	0,8
6)	$3^1/_2$	5	1,4
7)	$2^1/_2$	2	0,8
8)	$6^1/_2$	10	1,5
9)	8	10	1,2
10)	5	5	1,0
11)	$4^1/_2$	8	1,7
12)	$2^1/_2$	4	1,6
13)	5	5	1,0

Also im Durchschnitt: $15{,}6 : 13 = 1{,}2$.

Also im Mittel aus 13 Einzelbeobachtungen in 1 Secunde 1,2 Teilstriche.

$$1{,}2 \cdot 9 = 10{,}8\ \mu, \text{ d. h.}$$

es beträgt die Geschwindigkeit dieser Subtiliskultur bei Zimmertemperatur

pro Secunde rund 11 μ = 0,011 mm.

$$\begin{array}{l} 11\ \mu\ -\ 1 \text{ Secunde} \\ 1000\ \mu\ -\ X \end{array}$$

$$X = \frac{1000}{11} = 90{,}9$$

Also zu 1 mm 1 Minute 31 Secunden.

2. Bacterium typhi.

Es legten die einzelnen Stäbchen zurück:

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
1)	6	10	1,7
2)	3	5	1,7
3)	$2^1/_2$	4	1,6
4)	2	5	2,5
5)	$2^1/_2$	5	2,0
6)	$4^1/_2$	5	1,1
7)	$2^1/_2$	5	2,0
8)	$2^1/_2$	5	2,0
9)	$3^1/_2$	7	2,0
10)	2	$3^1/_2$	1,7
11)	$2^1/_2$	5	2,0
12)	$4^1/_2$	5	1,1
13)	$3^1/_2$	5	1,4
14)	3	7	2,5

Also im Durchschnitt: $25{,}3 : 14 = 1{,}8$.

Also im Mittel aus 14 Einzelbeobachtungen in 1 Secunde 1,8 Teilstriche.

$$1{,}8 \cdot 9 = 16{,}2\ \mu, \text{ d. h.}$$

es beträgt die Geschwindigkeit des untersuchten Typhus bei Zimmertemperatur

pro Secunde 16 μ = 0,016 mm.

$$\begin{array}{r} 16\ \mu - 1 \text{ Secunde} \\ 1000\ \mu - X \end{array}$$

$$X = \frac{1000}{16} = 62{,}5$$

Also zu 1 mm $62^1/_2$ Secunden.

Messung der Bewegung bei 45 ° C.

Die eben bei Zimmertemperatur untersuchten Prä-

parate von Subtilis sowohl als Typhus wurden im Wärmekasten langsam auf 45 ° erhitzt und nunmehr abermals ihre Geschwindigkeit bestimmt.

1. Bacillus subtilis.

Es legten nunmehr die einzelnen Stäbchen zurück:

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
1)	3	8	2,7
2)	$3^1/_2$	10	2,8
3)	$2^1/_2$	6	2,4
4)	$1^1/_2$	5	3,3
5)	$1^1/_2$	3	2,0
6)	2	4	2,0
7)	2	5	2,5
8)	$3^1/_2$	10	2,8
9)	2	5	2,5
10)	$1^1/_2$	3	2,0
11)	2	5	2,5
12)	3	10	3,3
13)	$2^1/_2$	7	2,8
14)	$2^1/_2$	10	4,0

Also im Durchschnitt: 37,6 : 14 = 2,6.

Also im Mittel aus 14 Einzelbeobachtungen in 1 Sekunde 2,6 Teilstriche.

$$2{,}6 \cdot 9 = 23{,}4\ \mu,\ \text{d. h.}$$

es beträgt die Geschwindigkeit des Subtilis jetzt **pro Secunde rund 23 μ = 0,023 mm.**

$$\begin{array}{l} 23\ \mu\ -\ 1\ \text{Secunde} \\ 1000\ \mu\ -\ X \end{array}$$

$$X = \frac{1000}{23} = 43.$$

Also zu 1 mm 43 Secunden.

Bei Zimmertemperatur hatte also der untersuchte Subtilis eine Bewegungsgeschwindigkeit von 0,011 mm pro Secunde, bei 45° eine solche von 0,023 pro Secunde oder bei Zimmertemperatur brauchte derselbe zu 1 mm 91 Secunden, bei 45° zu 1 mm 43 Secunden. Es fand demnach in dem erwärmten Präparat eine **Beschleunigung** der Geschwindigkeit **um mehr als das doppelte** statt.

2. Bacterium typhi.

Während das beobachtete Präparat bei Zimmertemperatur die normale Bewegung des Typhus gezeigt hatte, war die Geschwindigkeit desselben sowohl als auch die Zahl der beweglichen Stäbchen jetzt so gestiegen, dass eine Messung **absolut nicht mehr möglich** war.

b. Beobachtungen an etwas älteren (20 Stunden und mehr) ruhenden resp. sehr schwach beweglichen Kulturen. Beweis dass Erwärmen Bewegung aufnehmen lässt.

1. Subtilis.

Ich fertige von einer 20 Stunden alten Subtiliskultur gleichzeitig 2 Präparate an, die beide keine Spur einer Eigenbewegung zeigen, hiervon bringe ich das eine in den Wärmekasten. Bei 35° C fangen bereits einige Stäbchen an sich zu bewegen, bei allmählichem Steigen der Temperatur bis auf 45° C stellt sich allgemeine, sehr schöne

und rasche Bewegung ein. Das bei Zimmertemperatur verbliebene Präparat ist bewegungslos geblieben.

Subtilis, 50 Stunden alt, zeigt keine Bewegung. Im Wärmekasten dagegen stellt sich schon nach 20—25 Minuten bei 35°—37° C Bewegung ein, bei 46° C verstärkt sich diese in Bezug auf die Anzahl der Stäbchen wie auch bezüglich der Geschwindigkeit sehr.

Subtilis, einige Tage alt, ohne eine Spur von Bewegung, erhält im Wärmekasten zwischen 42 und 45° C sehr schöne Bewegung.

2. Typhus.

Präparat von 3 Tage altem Typhus (Bouillon) zeigt bei Zimmertemperatur (19° C) sehr schwache und geringe Bewegung. In den Wärmekasten verbracht, macht sich nach 20—30 Minuten bei 35° C ein deutliches Zunehmen der beweglichen Stäbchen bemerklich, während die Geschwindigkeit der Bewegung die gleiche zu sein scheint. Bei weiterem Steigern der Temperatur auf 42° C tritt allgemeines, auffallend rascheres Umherschwirren der meisten Stäbchen ein. Nur wenige Individuen bleiben auch jetzt bewegungslos, was mich vermuten lässt, dass dieselben abgestorben sind. Herr Professor Lehmann controllierte diesen Versuch mehrere Male und ersah die Richtigkeit desselben.

Typhuspräparat mit sehr schwacher Bewegung auf 45° C erhitzt. Bewegung nimmt an Geschwindigkeit ganz auffallend zu. Wie früher zeigt sich dagegen wieder, dass einzelne bewegungslose Stäbchen völlig bewegungslos bleiben.

Typhus mit mittelmässiger ziemlich langsamer Bewegung wird in den Wärmekasten verbracht. Bei 40° C vergleiche ich das Präparat mit dem in Zimmertemperatur

(20°) verweilenden Kontrollpräparat. Im erwärmten Präparat zeigen nicht nur erheblich mehr Bacterien Bewegung, sondern dieselbe ist auch eine auffallend raschere.

B. Lähmende Wirkung stärkerer Erwärmung auf die Eigenbewegung (Wärmestarre) und Versuche die Wärmestarre wieder zu heben.

Sporenfreie Bouillonkultur von Subtilis, die sehr schöne Bewegung zeigt, wird im Wasserbad unter genauer Controlle mit dem Thermometer 10 Minuten lang auf 50° C erhitzt. Bewegung ist nunmehr völlig aufgehoben.

Abstich auf Gelatine: Nach 24 Stunden schön gewachsen.

Sporenfreie Bouillonkultur von Subtilis gut beweglich auf 55° C im Wasserbad erhitzt. Bewegung sofort vollkommen aufgehoben.

Abstich auf Gelatine: Zeigt schönes Wachstum.

Subtilis mit geringer Beweglichkeit auf 45° C im Wasserbad erhitzt. Nach 10 Minuten Bewegung schöner und stärker. Bei Erhöhen auf 50° C und minutenlangem Verweilen auf dieser Temperatur ist die Bewegung vollständig aufgehoben.

Abstich auf Gelatine: Gutes Wachstum.

Subtilis mit guter Bewegung. Kultur im Wasserbad auf 40° C erhitzt, zeigt nunmehr schnellere und zahlreichere Beweglichkeit. Bei 48° C hält die Bewegung an, bei 50° C ist sie völlig aufgehoben.

Abstich auf Gelatine: Schön gewachsen, (gute Bewegung).

Subtilis (10 h alt) mit schöner Bewegung bei Erhitzen im Wärmekasten auf 58° C völlig bewegungslos. Auf das Dach verbracht (8° C) stellt sich **keine Bewegung** mehr durch Abkühlen ein, dagegen zeigt ein direkt von diesem absolut unbeweglichen Präparat gemachter Abstich auf Bouillon **normales Wachstum** mit normal beweglichen Stäbchen. —

Bouillonkultur von Subtilis bei 37° gezüchtet 20 Stunden alt minimale Bewegung. Bei Erwärmung im Wärmekasten verstärkt sich wie gewöhnlich die Bewegung enorm. Ganz auffallenderweise und abweichend von den andern Versuchen zeigen die meisten Stäbchen bei 58° C immer noch sehr lebhafte Bewegung, bei 60° hört sie endlich ganz auf. Präparat mit Microscop aufs Dach verbracht (6° C). Es stellt sich **keine** Bewegung mehr ein.

Strich auf Agar: **Schön gewachsen.**

C. Lähmende Wirkung stärkerer Abkühlung auf die Eigenbewegung (Kältestarre) und Versuche die Kältestarre wieder aufzuheben.

Junge Typhuskultur mit starker Bewegung bei Zimmertemperatur. Präparat mit Microscop auf das Dach gestellt, 30 Minuten lang bei +1° C. Bewegung ist jetzt nur noch langsam und schleppend. Nach 2 Stunden ist die Bewegung immer noch minimal vorhanden. Nach $3^1/_2$ Stunden ist die Bewegung fast ganz aufgehoben, nur

wenige vereinzelte Stäbchen zeigen solche noch ganz schwach. — Dieses Präparat verbringe ich nun mit Microscop in den Wärmekasten. Bei 35° C stellt sich bereits Bewegung ein, bei 45° C ist die frühere, äusserst rasche und allgemeine Beweglichkeit wiederhergestellt.

Subtilis, Präparat $^1/_2$ Stunde bei $+1^1/_2{}^0$ C auf das Dach verbracht. Bewegung vollkommen aufgehoben. Im Wärmekasten stellt sich zwischen 40—45° C wieder sehr schöne Bewegung ein.

Typhus mit äusserst schneller, tadelloser Bewegung bei Zimmertemperatur. Präparat wiederum mit Microscop auf das Dach verbracht bei $+^1/_4{}^0$ C. Nach $1^1/_2$ Stunden ist bei den meisten Stäbchen nur noch typische Molecularbewegung vorhanden, während wiederum ganz wenige, offenbar sehr widerstandsfähige Individuen äusserst schwache Eigenbewegung behalten haben. Dieses Präparat kommt mit Microscop in den Wärmekasten. Zwischen 30 und 35° C ist schon wieder lebhafte Bewegung sichtbar, bei 45° C scheint diese sogar lebhafter und stärker zu sein, als zu Anfang des Versuches, ebenso erscheint sie dem ständig bei Zimmertemperatur gebliebenen Controllpräparat gegenüber noch rascher und allgemeiner.

Die Anführung weiterer Versuche, die stets wenn auch manchmal mit geringen Modificationen zu den gleichen Resultaten führten, kann ich mir wohl hier ersparen, da die zu ziehenden Schlüsse aus den angegebenen Exempeln klar hervorgehen dürften, es ergibt sich daraus nämlich folgendes:

1) **Höhere Temperaturen d. h. Temperaturen bis zu 50° C** (Maximum) **wirken auf die Eigenbewegung der Bakterien aufs günstigste** ein. Sie können bei temporär unbeweglichen Individuen sowohl bei ganz **jungen** als vor allem

bei **älteren Bewegung hervorbringen** und können vor allem **schwache** Beweglichkeit bis aufs Maximum **steigern.**

2) Niedrige Temperatur (1—5° C) beeinflussen die Eigenbewegung der Bakterien in **ungünstiger** Weise, indem sie dieselben **verlangsamen** und **hemmen.**

3) Temperaturen zwischen 50– 60° C erzeugen **Wärmestarre** d. h. die Bakterien werden auch vollkommen unbeweglich, **leben aber noch weiter.**

Es ist mir nie gelungen, bei solchen wärmestarren Präparaten ein Wiedereintreten der Bewegung zu beobachten.

Man möchte deshalb glauben, dass die Geisseln durch die Erwärmung, zum Abfallen gebracht oder wenigstens sehr geschädigt sind.

4) Temperaturen zwischen + 0° C — 3° C können **Kältestarre** hervorrufen, d. h. die Bakterien sind unbeweglich geworden, **ohne abzusterben.** Diese Kältestarre kann **durch Wärme leicht beseitigt werden,** sodass wieder völlige Eigenbewegung eintritt.

IV. Abschnitt.

Einwirkung von Giften auf die Eigenbewegung.

Die Wirkung von allen möglichen Stoffen, Säuren, Alcalien u. s. w. auf das Wachstum und Leben der Bakterien ist eine in der Litteratur häufig wiederkehrende Frage. Ich verweise nur auf eine von Karl Köhler in der „Zeitschrift für Hygiene“ 1893 erschienene Arbeit, die speziell das Verhalten der Typhusbacillen gegenüber verschiedenen chemischen Agentien, insbesondere Säuren, Alcalien und Analinfarbstoffen in umfassender Weise behandelt. Ausserdem ist diese Frage in allen gründlichen Lehrbüchern der Bakteriologie besprochen. — **Ob und und wie weit solche Stoffe einen besonderen Einfluss auf die Eigenbewegung der Bakterien haben,** ist dagegen eine Frage, deren Beantwortung bisher noch ausstehen dürfte. Die einzige Arbeit in der Litteratur in der ich obiges Thema etwas eingehender behandelt fand, ist wiederum die schon öfters erwähnte Alfred Fischer's, der (Seite 69) sagt: „Untersuchungen darüber, ob giftige, die Entwicklung verzögernde Zusätze einen besonderen Einfluss auf die Bewegung und Geisselbildung haben, sind, soviel mir bekannt, bis jetzt noch

nicht angestellt worden. Ich habe eine grössere Anzahl solcher Stoffe, 23, in Bezug auf ihre Wirkung gegenüber dem Heubacillus untersucht. Eine Unterdrückung der Geisselbildung war durch keinen Zusatz zu erzielen, wohl aber wiederum, (ähnlich wie bei den Salzlösungen) eine Hemmung der Bewegung begeisselter Stäbchen und Ketten. Dieser Erfolg trat bei manchen Stoffen meist dann ein, wenn sie in solchen Mengen zugesetzt waren, dass eben noch eine Entwicklung stattfinden konnte. Andere Stoffe behinderten bei maximalem, eben noch Wachstum gestattendem Zusatz die Bewegung nicht. Endlich fiel auch hier nicht selten dieselbe Unregelmässigkeit auf, wie bei den Versuchen mit 4—5%igem Salmiak und anderen Salzen in ähnlicher Concentration; bald sofort lebhafte Bewegung, bald vollständige Ruhe mit allgemeiner oder scheinbar mangelhafter Geisselbildung."

Entsprechend den Aufgaben, die ich in meiner Arbeit zu lösen habe, beschäftigte ich mich lediglich mit dem Einfluss verschiedener Gifte auf die Eigenbewegung.

Methode: Während Fischer sowohl wie Köhler ihre Nährböden unter Zusatz der zu untersuchenden Stoffe herstellten, ging ich in anderer Weise vor. Von verschiedenen Giften stellte ich mir Lösungen von bestimmtem Gehalte her z. B. 1%, 2½%, 5%, 10%, 20% u. s. w. Die Versuchsanordnung bestand darin, dass ich z. B. 1 ccm der zu prüfenden Giftlösung mit 1 ccm einer jungen, sporenfreien Bakterienkultur (Bouillon) vermischte, deren lebhafte Eigenbewegung ich vorher beobachtet hatte. Die Untersuchung geschah einige Minuten nach der Mischung, war dann noch Bewegung vorhanden, so wurde bis zu mehreren Stunden in gewissen Zeitabständen untersucht. Sobald ich auch nicht an einem einzigen Organismus eine Spur von Eigenbewegung mehr sehen konnte, impfte ich

Striche auf Agar ab, um so zu constatiren, ob nur **Lähmung** oder **gleichzeitige Abtötung** stattgefunden habe. Es war zu erwarten, dass Zustände, in denen die Bakterien zwar gelähmt, aber nicht getötet waren, (Giftstarre) häufig zur Beobachtung kämen, wirken doch auch z. B. die spezifischen Agglutinine lähmend, aber nicht tötend auf die Bakterien. Untersucht wurde daraufhin zunächst mit Schwefelsäure und Alcohol.

Zur Verwendung kamen Bouillonkulturen von Subtilis und Typhus.

Durch Vorversuche stelle ich zunächst fest, mit wie starken Lösungen ich etwa arbeiten muss, um zum Ziel gelangen zu können. Von den überaus zahlreichen Versuchen, bei denen natürlich jede einzelne hergestellte Mischung im hängenden Tropfen 1—mehrere Mal untersucht werden musste, zähle ich nur die prägnantesten auf.

Alcohol (50%) (Gewichtsprocent).

Bacillus Subtilis.

1) $^1/_2$ ccm B. K.[1]) $+^1/_{10}$ ccm Alcohol-Lösung. Bewegung nicht beeinflusst } 8,3%

---

2) $^1/_2$ ccm B. K. $+$ $^2/_{10}$ ccm Alcohol-Lösung. Bewegung verlangsamt } 14,3%

---

3) $^1/_2$ ccm B. K. $+$ $^1/_4$ ccm Alcohol-Lösung.
Bewegung **aufgehoben.**
Agrarstrich: Schön **gewachsen.** } 16%

---

[1]) B. K. = Bouillonkultur.

4) $^1/_2$ ccm B. K. + $\frac{3^1/_2}{10}$ ccm Alcohol-Lösung. Bewegung sofort aufgehoben. Agarstrich: **Schön gewachsen.** } 23 %

---

5) $^1/_2$ ccm B. K. + $^1/_2$ ccm Alcohol-Lösung. Bewegung aufgehoben. Agarstrich: Nichts gewachsen. } 25 %

Bacterium typhi.

1) $^1/_2$ ccm B. K. + $^1/_{10}$ ccm Alcohol-Lösung. Bewegung nicht beeinflusst. } 8,3 %

---

2) $^1/_2$ ccm B. K. + $\frac{1^1/_2}{10}$ ccm Alcohol-Lösung. Bewegung etwas verlangsamt. } 10,1 %

---

3) $^1/_2$ ccm B. K. + $^2/_{10}$ ccm Alcohol-Lösung. Bewegung stark verlangsamt, nach $^1/_2$ Stunde völlig aufgehoben. Agarstrich: Gut gewachsen. } 14,3 %

---

4) $^1/_2$ ccm B. K. + $^1/_4$ ccm Alcohol-Lösung. Bewegung sofort aufgehoben. Agarstrich: Schön gewachsen. } 16$^1/_2$ %

---

5) $^1/_2$ ccm B. K. + $^1/_2$ ccm Alcohol-Lösung. Bewegung aufgehoben.
Agarstrich: Nichts gewachsen. } 25 %

Schwefelsäure.

Eine 96 %ige Lösung wurde als 100 %ig angenommen und daraus eine 1 %ige hergestellt (Gewichtsprocent).

Subtilis.

1) 1 ccm B K. + $\frac{1}{100}$ ccm Lösung.
Bewegung nicht beeinflusst. } $\frac{1}{101}$ %

---

2) 1 ccm B. K. + $\frac{2}{100}$ ccm Lösung.
Bewegung sehr verlangsamt, bald völlig aufgehoben.
Agarstrich: Gewachsen. } $\frac{1}{51}$ %

---

3) 1 ccm B. K. + $\frac{5}{100}$ ccm Lösung.
Bewegung sofort völlig aufgehoben.
Agarstrich: Gewachsen. } $\frac{1}{21}$ %

---

4) 1 ccm B. K. + $\frac{2}{10}$ ccm Lösung.
Bewegung aufgehoben.
Agarstrich: Nichts gewachsen. } $\frac{1}{6}$ %

Typhus.

1) 1 ccm B. K. + $\frac{1}{100}$ ccm Lösung.
Nicht beeinflusst. } $\frac{1}{101}$ %

---

2) 1 ccm B. K. + $\frac{3}{100}$ ccm Lösung.
Die meisten Stäbchen in der Bewegung gehemmt, manche noch schwach beweglich, aber andauernd. } $\frac{1}{34}$ %

---

3) 1 ccm B. K. + $\frac{5}{100}$ ccm Lösung.
Bewegung aufgehoben.
Agarstrich: Gewachsen. } $\frac{1}{21}$ %

---

4) 1 ccm B. K. + $\frac{1}{10}$ ccm Lösung.
Bewegung aufgehoben.
Agarstrich: Schönes Wachstum. } $\frac{1}{11}$ %

---

5) $\frac{1}{2}$ ccm B. K. + $\frac{1}{10}$ ccm Lösung.
Bewegung aufgehoben.
Agarstrich: Nichts gewachsen. } $\frac{1}{6}$ %

Uebersichtstabelle:

Bacillus subtilis.

	Bewegung nicht beeinflusst	Verlangsamt	Giftstarre	Tod
Schwefelsäure	$\frac{1}{101}$ %	$\frac{1}{51}$ %	$\frac{1}{21}$ %	$\frac{1}{6}$ %
Alcohol	8,3 %	10,5 %	16½—23 %	25 %

Bacterium typhi.

Schwefelsäure	$\frac{1}{101}$ %	$\frac{1}{34}$ %	$\frac{1}{11}$—$\frac{1}{21}$ %	$\frac{1}{6}$ %
Alcohol	8,3 %	10,1—10,5 %	10,5—16,5 %	25 %

Meine Absicht noch eine weitere Anzahl von Giften bezüglich ihres Einflusses auf die Eigenbewegung zu prüfen, brach ich hier ab aus dem begreiflichen Grunde, dass ja die Hypothesen, die mich zur Ausführung dieser Versuche geführt hatten, sich durch die erwähnten Versuche **vollkommen bestätigten.** Ich begnügte mich vielmehr mit dem Studium dieser beiden Gifte und stellte noch eine Reihe von gleichen oder ähnlichen Versuchen an, die stets die gleichen Resultate zu Tage förderten.

Wohl kam es vor, dass bei quantitativ gleichen Mischungen einmal die Bewegung mehr, einmal weniger beeinflusst war, auch zeigte von 2 gleichen Mischungen manchmal die eine keine Bewegung mehr, die andere noch ganz gute. **Stets** aber fanden sich Stadien, in denen die **Bewegung, nicht aber** das **Wachstum** aufgehoben war. Ferner liessen sich für die in der Tabelle angegebenen 4 Stadien keine genaue begrenzte Werte

angeben, vielmehr schwankte der Eintritt der einzelnen Stadien etwa in den aus der Tabelle ersichtlichen Ziffern.

Ziehe ich aus diesen Beobachtungen das Facit, so darf ich wohl sagen:

1) Es können die Bakterien eine bestimmte Menge von Giftzusatz **ohne Schaden** für die Geschwindigkeit ihrer Bewegung vertragen. Etwas **stärkere** Zusätze **verlangsamen die Bewegung** und bringen sie schliesslich **zum völligen Aufhören.**
2) Die Bakterien können durch Giftzusätze so beeinflusst werden, dass **ihre Eigenbewegung sofort oder nach kurzer Zeit vollkommen aufgehoben** wird, **ohne dass dieser Umstand eine Schädigung ihrer Lebensfähigkeit zur Folge hätte.** Es wäre dies als eine **Giftstarre** derselben zu bezeichnen, analog der oben erwähnten Kälte- und Wärmestarre. Versuche diese Giftstarre durch Erwärmen wieder zu heben, fielen durchweg **negativ** aus.

V. Abschnitt.

Versuche unbewegliche Rassen beweglicher Arten wieder zur Eigenbewegung zu veranlassen.

In diesem letzten Abschnitt meiner Arbeit unterwarf ich auf speziellen Wunsch des Herrn Professor Lehmann eine in der Litteratur öfters berührte Frage einer gründlichen Nachprüfung. Es handelte sich um die von Maurea als beweglich geschilderte Sarcina mobilis

und den von Ali — Cohen beschriebenen beweglichen Micrococcus agilis. —

Ueber diese Organismen, deren Eigenbewegung sowohl als auch Geisselbildung von Löffler und Migula bestätigt wurden, finden wir in Lehmann und Naumann's Lehrbuch der Bakteriologie und der bakteriologischen Diagnostik [1]) folgende Ausführungen:

„Wir haben weder an einer Berliner noch an einer Kraler Kultur je Eigenbewegung oder eine Geissel gesehen, trotz aller Bemühungen, Züchtungen auf 5%igem schrägen Milchzuckeragar, auf Heudekoct, Bouillon u. s. w., Verwendung hoher und niederer Temperaturen, junger und alter Kulturen u. s. f. Beide Kulturen sind von unserm Micrococcus roseus nicht zu unterscheiden. Da absolut nicht zu bezweifeln ist, dass Ali—Cohen, Migula, Löffler und andere lange Geisseln gefärbt haben, so können wir zur Zeit unseren Micrococcus agilis nur als einen Micrococcus roseus auffassen, der einmal Geisseln besessen und sie wieder **verloren** hat."

Ferner über Sarcina mobilis:

„Niemals konnten wir die von Maurea beschriebene Eigenbewegung sehen, niemals Geisseln färben. Unsere Art scheint die Geisselbildung eingebüsst zu haben."

Letztere Annahme bestätigt Migula [2]) der bei beweglichen Coccaceen den Verlust der Beweglichkeit und der Geisselbildung Generationen hindurch beobachtet hat. Eine Erklärung für diese Rückbildung liegt wohl darin, dass unsere künstlichen Nährböden die Lebensbedingungen der Bakterien immerhin in sehr unvollkommener Weise erfüllen können. Bei Uebertragung und häufigem Abimpfen auf passendere Nährböden (Krautabkochung, Kar-

1) München, Verlag von J. F. Lehmann 2. Auflage 1899.

2) Migula, System der Bakterien. Allgemeiner Teil S. 132.

toffelsaft) sah Migula sogar Beweglichkeit und Geisselbildung wieder eintreten.[1])

Da diese Frage seit Herausgabe des erwähnten Lehmann und Naumann'schen Lehrbuches einer ferneren gründlichen Untersuchung noch nicht unterzogen war, kam ich um so lieber dem Wunsche von Herrn Professor Lehmann, dies zu thun, nach, um mit Anwendung aller gebräuchlichen Mittel in objektiver Weise meine Aufgabe zu erledigen.

Trotz Anwendung von höheren Temperaturen, die ja wie oben ausgeführt, die Eigenbewegung bis zu einem gewissen Grade in äusserst günstiger Richtung beeinflussen, und trotz Verwendung von ganz jungen Bouillon- und Zuckerbouillonkulturen konnte ich aber eine Eigenbewegung nicht beobachten, wenn auch bei manchen Präparaten, vor allem in erwärtem Zustande eine Bewegung zu sehen war, die zwar stark auf der Grenze zwischen Molecular- und Eigenbewegung stand, die aber doch noch als Molecularbewegung angesehen werden musste. Mehrmals versuchte ich mit gütiger Unterstützung der Assistenten an unserm Institut sowohl nach der Löffler'schen als nach der Bunge'schen Methode bei beiden Arten Geisseln zu färben, doch gelang dies in keiner Weise.

Schliesslich machte ich in der von Migula angegebenen Weise den Versuch, die, wie oben erwähnt, scheinbar verloren gegangene Bewegungsfähigkeit unseres Stammes von Sarcina mobilis und Micrococcus agilis wiederherzustellen.

Ich impfte 10 Tage lang beide Individuen täglich 1—2 mal auf eigens dazu hergestellten Kartoffelsaft, sowie auf Krautdecoct ab, züchtete sie bei Zimmer- und Brutschranktemperatur und untersuchte dieselben von

1) Migula, System der Bakterien. Spezieller Teil S. 276.

5—6 Stunden bis zu mehreren Tagen nach der Abimpfungszeit sowohl bei Zimmertemperatur als auch im Wärmekasten bei höheren Temperaturen. Mehr als eine zwar sehr starke, aber immer noch typische Molecularbewegung konnte ich aber auch hierbei **nie** beobachten.

Ich kann also auf Grund dieser Versuche die oben angeführten von Herrn Professor Lehmann gemachten Beobachtungen nur bestätigen.

Da es mir mit allen zu Gebote stehenden Mitteln nicht gelungen ist, ein Wiedereintreten der Eigenbewegung zu sehen, so bin ich geneigt anzunehmen, dass die in unserem Institut vorhandenen Stämme von Sarcina mobilis und Micrococcus agilis ihre Beweglichkeit nicht nur temporär, sondern, soweit sich dies zur Zeit sagen lässt, **dauernd** eingebüsst haben.

Anhang.

Versuche über die praktische Geschwindigkeit der Bakterien.

Es schien von besonderem Interesse zu beobachten, mit welcher Geschwindigkeit die Bakterien in Flüssigkeiten von einem Ort an den andern zu gelangen vermögen, also gewissermassen die praktische Geschwindigkeit der Bakterien zu bestimmen. Zu diesem Zweck habe ich sehr viele Versuche angestellt, alle mit folgender Versuchsanordnung:

Es wurde eine horizontal liegende Glasröhre von 4 cm Weite in Abständen von 5—10 cm mit senkrechten Rohransätzen versehen und hierauf halb mit Bouillon gefüllt, das Ansatzrohr mit Wattepfropf ver-

schlossen und das Ganze sterilisiert. Hierauf wurde durch das erste Ansatzrohr eine Oese Bakterienkultur (fast ausschliesslich Bakterium prodigiosum) eingebracht und die Röhre in einem sonst nicht benützten Zimmer, vor Licht geschützt, bei Temperatur von ungefähr 20° C stehen gelassen. Alle 1—4 Stunden wurden nun von den verschiedenen Ansatzröhrchen auf Agarplatten Striche abgeimpft, um zu ermitteln, bis wann die Bakterien zu den einzelnen Ansatzröhren vorgedrungen seien. Die Protokolle der Versuche hier ausführlich mitzuteilen, möchte ich aus dem Grunde unterlassen, weil die Resultate der einzelnen Berechnungen, (ohne dass ich dafür einen Grund anzugeben im Stande bin) in ziemlichen Grenzen schwankten. In 6 wohlgelungenen Versuchen wurde als praktische Geschwindigkeit ermittelt in Minimo 3—4 μ pro Secunde, in Maximo 13 μ pro Secunde, in der Mehrzahl der Fälle 5—10 μ pro Secunde. Ich habe zum Vergleich die Geschwindigkeit von Bakterium prodigiosum auch nach der früheren, mikroskopischen Methode bei Zimmertemperatur ermittelt und folgende Resultate erhalten.

Bakterium prodigiosum.

Es legten die einzelnen Individuen zurück:

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
1)	2	4	2,0
2)	3	5	1,7
3)	$2^1/_2$	5	2,0
4)	3	6	2,0
5)	2	5	2,5
6)	$4^1/_2$	10	2,2

No.	in Secunden	Teilstriche	Teilstriche in 1 Secunde
7)	4	10	2,5
8)	$3^1/_2$	9	2,6
9)	$2^1/_2$	6	2,4
10)	$2^1/_2$	10	4,0
11)	2	5	2,5
12)	$1^1/_2$	5	3,3
13)	$3^1/_2$	5	1,4
14)	2	3	1,5
15)	$2^1/_2$	5	2,0
16)	3	5	1,7

Also im Durchschnitt: $36{,}3 : 16 = 2{,}2$.

Also im Mittel aus 16 Einzelbeobachtungen in 1 Sekunde 2,2 Teilstriche.

$$2{,}2 \cdot 9 = 19{,}8\ \mu,\ \text{d. h.}$$

es beträgt die Geschwindigkeit des Bakterium prodigiosum **rund pro Secunde 20** μ.

Es zeigt sich also, dass auch die **grösste praktische** Geschwindigkeit **nicht unerheblich** hinter der mit dem Mikroscop ermittelten **factischen** Geschwindigkeit auf kleine Strecken zurückbleibt und dass die gewöhnlich beobachtete praktische Geschwindigkeit von 5—10 μ **nicht einmal die Hälfte** der mit demMik roscop beobachteten theoretischen Geschwindigkeit darstellt. Das ist eigentlich selbstverständlich; denn es ist ja nicht anzunehmen, dass die Bakterien mit ihrer theoretischen Geschwindigkeit stundenlang gerade aus schwimmen, ihre Bahnen werden vielmehr **gekrümmt** sein.

Zwei Versuche habe ich über die praktische Geschwindigkeit auch angestellt mit dem unbeweglichen Bakterium pneumoniae. Zu meiner grossen Verwunderung erhielt ich in den beiden Versuchen Geschwindigkeiten, die denen des Bakterium prodigiosum (nach der Röhrenmethode ermittelt) **sehr nahe** standen. Ich enthalte mich eine Erklärung hierfür zu geben, muss aber die Vermuthung aussprechen, dass kleine unvermeidliche **Erschütterungen des Apparates** oder durch **Temperaturdifferenzen** hervorgebrachte **Flüssigkeitsströmungen**, endlich die unvermeidliche Erschütterung auch beim vorsichtigsten Abimpfen zur allmählichen Verbreitung des unbeweglichen Organismus in der Flüssigkeit geführt haben. Da ja auch meine Versuche mit Bakterium prodigiosum von diesem Einwand nicht ganz frei sind, so glaubte ich die Versuche nur in einem Anhang mitteilen zu sollen. Die Frage der praktischen Geschwindigkeit der Bakterien ist entschieden noch weiter zu studieren.

Es ist mir eine angenehme Pflicht meinen hochgeschätzten Lehrer Herrn Professor Dr. K. B. Lehmann für die unermüdliche Unterstützung bei der Anstellung der Versuche sowie für das grosse Interesse, das derselbe dem Verlaufe dieser Arbeit entgegenbrachte, auch an dieser Stelle meinen tiefgefühltesten Dank auszusprechen.

Lebenslauf.

Ich, Eugen Fried, bayrischer Staatsangehörigkeit, israelit. Konfession, bin geboren am 25. Juli 1880 zu Ingenheim (Rheinpfalz) als Sohn des Weinhändlers Sal. Fried in Ingenheim und seiner Ehefrau Regine geb. Roos. Nach Besuch der dortigen Volksschule und des humanistischen Gymnasiums zu Landau (bis zur Unterprima) bezog ich die Universität, um mich dem Studium der Zahnheilkunde zu widmen. Ich studierte alsdann in Strassburg, Würzburg, Berlin und wieder in Würzburg. Daselbst wurde ich am 16. November 1900 zum Zahnarzt approbiert; seitdem studierte ich ausschliesslich Naturwissenschaften und Bacteriologie an hiesiger Universität.

Während meiner Studienzeit besuchte ich die Vorlesungen und Kurse folgender Herren Professoren und Docenten:

Strassburg: Jessen, Pfitzner;

Berlin: Busch, Diek, Lesser, Miller;

Würzburg: Boveri, Kraus, Lehmann, Michel, Regel, Spemann, Stöhr.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, meinen verehrten Herren Lehrern für den erteilten Unterricht herzlichst zu danken.